

氏 名	張 陽
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	農 博 第 1699 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	農 学 研 究 科 農 学 専 攻
学位論文題目	FLOWER COLOR DIVERSITY AND THE OPTICAL MECHANISM (花色の多様性とその光学的メカニズム)

論文調査委員 (主 査) 教授 矢 澤 進 教授 米 森 敬 三 教授 縄 田 栄 治

### 論 文 内 容 の 要 旨

自然界の花色は多種多様である。これは、含有色素による色彩に加え、花卉組織の形態・構造によって生じる質感が加わるためである。本論文では深み感や光輝感などの質感を広義の花色ととらえ、花卉組織の形態・構造と各種質感発現との間の光学的因果関係を明らかにしようとした。結果は、以下のように要約される。

1. 花卉は通常薄く、半透明であるが、表皮細胞の形態は種によって大きく異なり、内部には多様な色素と多くの空気層(細胞間隙)を含む。このように複雑な形態と構造をもつ花卉で起こる光現象を光学的に調べた研究はこれまでほとんどない。そこで、花卉での光学現象を解析するための方法を考案した。花卉に入射する光を、表面反射光(ERL)、内部反射光(IRL)および透過光(TL)に分けた。花卉からの反射光としてERL+IRLが人の目に入り、ERLとIRLの強度と分布で質感が決まると考えた。分光反射強度の測定とマイクロスコップによる画像解析により、ERLは表皮細胞の形状によって決まり、IRLは含有色素の種類と濃度および花卉の内部構造によって決まることを明らかにした。

2. 多くの園芸植物に存在するベルベット状の質感を光学的に解析した。その結果、ベルベットの光沢の実体は表皮細胞表面に生じるERLによるハイライトであった。ハイライトの大きさは表皮細胞の形状によって決まった。ハイライトの大きさによってハイライトの明るさが決まり、人間の目で認知できるかどうかが決まる。表皮細胞が釣り鐘状あるいはドーム状で大きなハイライトを形成できる場合にベルベット光沢は生じた。また、ハイライトの認知には含有色素が影響した。含有色素が少ないとIRLが強くなり、相対的に弱いERLのハイライトが相殺されて認知できなかった。含有色素が多い場合は、コントラストによってこのハイライトが見えた。ERLのハイライトの大きさは入射光の角度によって変動するが、実際のベルベット光沢の発現とよく一致した。

3. 緑色の部分と金属光沢の部分をもつ*Begonia rex*をモデル植物にして、金属光沢の光学的発現機構を調べた。金属光沢は、ERLによるハイライトとIRLによって生じる多角形ハイライトが均一に配列する状態で生じた。これらのハイライトは目の解像度以下の大きさであり、見えないが、金属光沢の質感として認知された。緑色部と金属光沢部の切片を比較した結果、IRLの多角形ハイライトの発現のためには、表皮細胞直下に柵状組織がなく、かわりに細胞間隙のあることが深く関わっていた。

4. 花卉がキラキラと輝く、いわゆるダイヤモンドダストは、花卉の質感として科学的に研究された事例はないが、商業的には有用な形質として認識されている。ダイヤモンドダストの光学的実体は、ドーム状の表皮細胞と間隙の多い内部構造によって生じ、IRLの強いハイライトであった。表皮細胞あるいは花卉柔組織を機械的に破壊するとダイヤモンドダストの質感が消失することから、ドーム状の表皮細胞と間隙の多い内部構造が質感発現に重要な役割を果たしていると考えられた。ドーム状の表皮細胞が凸レンズ様のはたらきで入射光を集光し、それを間隙の多い内部構造がIRLとして反射し、強いハイライトが花卉表面で偶然に生じるのがダイヤモンドダストであると考えられた。含有色素はIRLの強度を低下させる。したがって、ダイヤモンドダストは白色もしくは淡色の花卉でしか生じなかった。

5. シダ類の青色葉に見られる構造色を調べた。幼葉は緑色であるが、成熟するにつれ葉は青色を帯びた。色素の抽出を行ったが、青色色素は検出されなかった。また、葉の青色発現は入射光に対して角度依存性であった。透過型電子顕微鏡を用いて表皮細胞細胞壁の微細構造を観察した。その結果、葉の構造色は、表皮細胞の細胞壁に生じた斉一な多層構造によって発現すると考えられた。

以上の結果より、多様な花色の光学的発現機構が明らかになり、質感を含めた花色の多様性に向けた花卉育種の可能性が示唆された。

## 論文審査の結果の要旨

これまでの花色研究は含有色素に主眼をおいたもので、生化学的・遺伝学的な研究がほとんどであった。花色は光源のスペクトルと花卉の分光反射特性によって決まることから、色素のみで化学的に花色を論じることには限界がある。本論文は、花卉組織の形態・構造によって生じる質感を広義の花色にとらえ、含有色素も含めた花色発現の多様性を光学的に明らかにしようとしたものである。成果として評価すべき点は以下のとおりである。

1. 花卉で起こる複雑な光現象を解明するための方法論を提示した。花卉に入射する光を、表面反射光 (ERL)、内部反射光 (IRL) および透過光 (TL) に分け、花卉からの反射光として ERL+IRL が人の目に入り、ERL と IRL の強度と分布で質感が決まることを示した。ERL は表皮細胞の形状によって決まり、IRL は含有色素の種類と濃度および花卉の内部構造によって決まることを明らかにした。

2. ベルベット状の光沢の実体が表皮細胞表面に生じる ERL によるハイライトであることを明らかにした。ハイライトの認知には色素の含有量が影響し、含有量が多い場合にのみ、暗い表皮細胞表面とのコントラストによってこのハイライトがベルベットの質感として認知できることをはじめて明らかにした。

3. 金属光沢は、ERL によるハイライトと IRL によって生じる多角形ハイライトが均一に配列する状態で生じること、並びにこれらのハイライトは目の解像度以下の大きさであり、目に見えないが、金属光沢の質感として認知されることを示した。

4. ダイヤモンドダストの光学的実体が、ドーム状の表皮細胞と間隙の多い内部構造によって生じる IRL の強いハイライトであることを示した。その光学的メカニズムとして、ドーム状の表皮細胞が凸レンズ様のはたらきで入射光を集光し、それを間隙の多い内部構造が IRL として反射し、強いハイライトを花卉表面に発生させることを示唆した。

5. シダ類の青色葉は構造色であることを明らかにした。葉の青色発現が、葉齢にともなう表皮細胞の構造変化によって起こること、葉は青色色素を含まないこと、および葉の青色発現は入射光に対して角度依存性であることを示した。透過型電子顕微鏡を用いた観察により、葉の構造色は表皮細胞の細胞壁に生じた斉一な多層構造によって発現することを明らかにした。

以上のように本論文は、花卉組織の形態・構造と花卉のもつ質感との間の光学的因果関係を明らかにし、これまで研究例のほとんどなかった花色の光学的発現機構を明らかにしたものである。得られた知見は園芸学並びに花卉の花色の多様性に向けた育種に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成20年2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。